

**Oral de second groupe de Sciences de l'ingénieur**

**Durée : préparation 1 heure**

**Présentation 10 min**

**Échange avec l'examineur 10 min**

**Coefficient 6**

**Étude d'un système pluri technique.**

*Sont autorisés les calculatrices électroniques et le matériel nécessaire à la représentation graphique.*

*Aucun document n'est autorisé.*

## **Autonomie énergétique de l'île du Guesclin**



### **Sommaire**

Dossier **Technique de l'île du Guesclin** (DT1 à DT11).

	<i>durée conseillée</i>
Découverte du sujet	<i>10 minutes</i>
La partie 1 : Étude fonctionnelle de l'alimentation énergétique de l'île Du Guesclin	<i>5 minutes</i>
La partie 2 : Étude de l'apport énergétique des panneaux solaires	<i>10 minutes</i>
La partie 3 : Étude du mix énergétique	<i>10 minutes</i>
La partie 4 : Étude de l'autonomie du parc batteries en absence de vent et de soleil	<i>10 minutes</i>
La partie 5 : Étude du renouvellement des batteries et synthèse	<i>15 minutes</i>

**Les réponses seront rédigées sur feuille de copie et présentées oralement sur une durée de 10 min**

## Travail demandé

### Contexte de l'étude :

Le fort Du Guesclin est un site isolé, sur le domaine maritime entre St Malo et Cancale en Bretagne (Ille et Vilaine). Aucun service d'énergie et d'eau n'est disponible sur cette presqu'île. Cette habitation exceptionnelle sera prochainement offerte à la location et devra fournir des prestations confortables.

Le nouveau gérant de l'île Du Guesclin a donc besoin de quantifier l'autonomie énergétique de cette île pour renouveler le parc batteries vieillissant.

### Problème technique :

La charge des batteries est dégradée. Le parc batteries, installé en 1998, arrive en fin de vie et doit être renouvelé. Votre étude devra définir une nouvelle configuration avec des batteries gel-plomb plus actuelles en respectant le besoin du client :

Assurer une autonomie énergétique de cinq jours en cas d'absence de vent et de soleil.

### Partie 1/ Étude fonctionnelle de l'alimentation en énergie de l'île du Guesclin (Durée conseillée = 5min)

- Q 1 ). Donner la fonction des éléments suivants et le type d'énergie présent en entrée et en sortie de chacun d'eux (voir DT1, DT2 et DT6): **panneaux solaires, éolienne, génératrice synchrone, parc batteries et onduleur.**

### Partie 2/ Étude de l'apport énergétique minimal des panneaux solaires (Durée conseillée = 10min)

- Q 2 ). Donner l'irradiation globale minimum  $R_{a_{min}}$  en  $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$  par jour reçue par les panneaux solaires de l'île du Guesclin au cours de l'année (voir DT3). À quelle saison correspond-elle?

- Q 3 ). En déduire le nombre d'heures  $T_e$  d'exposition quotidienne des panneaux pour un éclairement énergétique équivalent à  $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $T_e = \frac{R_a}{\text{éclairement énergétique équivalent}}$ ).

- Q 4 ). Déterminer la valeur du courant  $I_p$  fourni par un panneau solaire exposé à un éclairement énergétique de  $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  pour une tension de **24 V** (voir DT3 et DT8).

- Q 5 ). Déterminer le nombre total  $N_{total}$  de panneaux solaires présents sur l'île Du Guesclin et déduire le courant  $I_{p_{total}}$  fourni par l'installation (voir DT1 et DT4).

- Q 6 ). **Exprimer** la formule de l'énergie électrique en fonction de **U**,  **$I_p$** , et  **$T_e$** , puis en utilisant les résultats précédents, calculer la quantité d'énergie  **$W_{panneaux}$**  en  $\text{kW}\cdot\text{h}$  produite par les panneaux solaires sur une journée.

Pour la suite de l'étude on prendra  **$W_{panneaux} = 6 \text{ kW}\cdot\text{h}$** .

- Q 7 ). Sachant que le rendement global des régulateurs associés au parc batterie est de **85%** déterminer la quantité d'énergie minimale apportée quotidiennement par le système photovoltaïque,  **$W_{sys\_photovolt}$**  en  $\text{kW}\cdot\text{h}$ .

### Partie 3/ Étude du mix énergétique (Durée conseillée = 10min)

- Q 8 ). **Analyser** les graphiques d'apport d'énergie renouvelable du document DT 10. **Comparer** l'énergie renouvelable disponible avec la consommation sur le fort (DT 7). **Commenter** le dimensionnement des installations, en été et en hiver.

### Partie 4/ Étude de l'autonomie du parc batteries en absence de vent et de soleil

- Q 9 ). **Déterminer** la tension nominale  $U_{nom}$  du parc batteries (voir DT 5 et DT8) et **calculer** la capacité maximale  $C_{parc\_max}$  du parc batteries en A·h.

Pour optimiser la durée de vie des batteries au plomb, elles ne doivent pas subir de décharges profondes. En pratique, on ne descend jamais en dessous de 30% de leur capacité maximale.

- Q 10 ). **Calculer** la quantité d'électricité  $Q_{parc\_dispo}$  disponible au sein du parc batteries en A·h. **Déterminer** l'énergie  $W_{dispo\_parc}$  disponible au niveau du parc batteries en kW·h.

Pour la suite de l'étude, on prendra une **tension de maintien de 27 V** aux bornes des batteries ce qui donne une énergie stockée du parc batteries sans apport de  **$W_{batteries} = 43,2 \text{ kW}\cdot\text{h}$** . Le graphique du DT11 représente la simulation de la décharge du parc batteries avec la consommation journalière, sans apport d'énergie.

- Q 11 ). Sur le graphique, **tracer** la limite de décharge du parc batteries sachant qu'il ne doit se décharger qu'à 70%. **Relever** le temps mis pour atteindre ce seuil de décharge. **Quantifier et analyser l'écart** entre le besoin du client d'avoir une autonomie de cinq jours et le comportement simulé.

### Partie 5/ Étude du renouvellement des batteries

Le parc batteries installé en 1998 montre des signes de fatigue. L'usure des batteries au plomb, ne permet plus d'assurer le stockage de l'énergie. Le renouvellement des batteries est envisagé avec une nouvelle technologie de batterie au gel. Les batteries choisies ont une capacité de 220 A·h. Vu les résultats de la question précédente, pour limiter l'investissement, la configuration retenue consiste à réduire le nombre de batteries. Une première étude est faite avec 4 batteries réparties en deux groupes de deux batteries en série. La consommation reste identique aux besoins exprimés par le client (tableau DT 7).

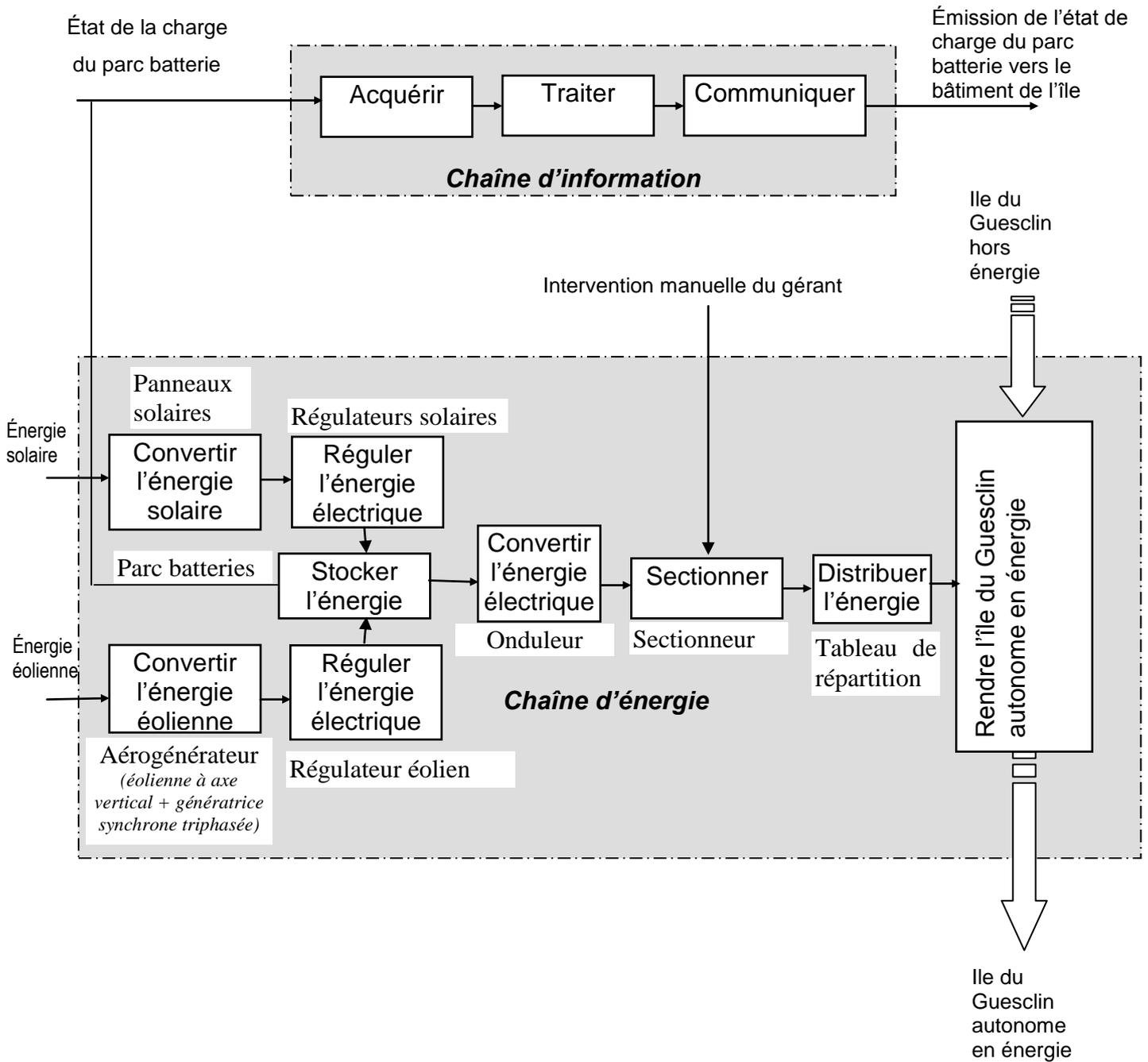
- Q 12 ). **Relever** sur le graphique du document technique DT11 l'état de charge initial correspondant à la pleine charge du parc batteries. **Calculer** le seuil de décharge correspondante à 70% de la charge totale. Sur le graphique DT11, **faire apparaître** le seuil de décharge correspondant à 70% de décharge du parc batteries. **Relever** le temps nécessaire pour atteindre ce seuil de décharge. **Analyser l'écart** entre le besoin client et la simulation du nouveau parc batteries. Cette configuration est-elle satisfaisante ?

### **Synthèse :**

**Proposer** des pistes d'amélioration pour satisfaire les exigences du client en visant des objectifs de réduction d'impact environnemental, l'absence d'apport énergétique étant peu fréquent dans l'année.



## 2/ Graphe fonctionnel de l'alimentation en énergie de l'île Du Guesclin



### 3/ DESCRIPTION DES CONSTITUANTS

#### 3.1/ Les panneaux solaires photovoltaïques

Chaque panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques qui convertissent l'éclairement énergétique ( $W \cdot m^{-2}$  ou  $kW \cdot m^{-2}$ ) du soleil en énergie électrique (tension et courant continu). L'assemblage des cellules en série permet d'obtenir une tension compatible avec la tension de charge de la batterie.

Le courant produit par un panneau est directement proportionnel à l'éclairement énergétique reçu : le panneau solaire fonctionne comme un générateur de courant.

Les conditions d'installation des panneaux solaires permettant la meilleure exposition au soleil pendant les mois les plus défavorables en ensoleillement sont: orientation sud, inclinaison égale à la latitude du site  $+10^\circ$ .



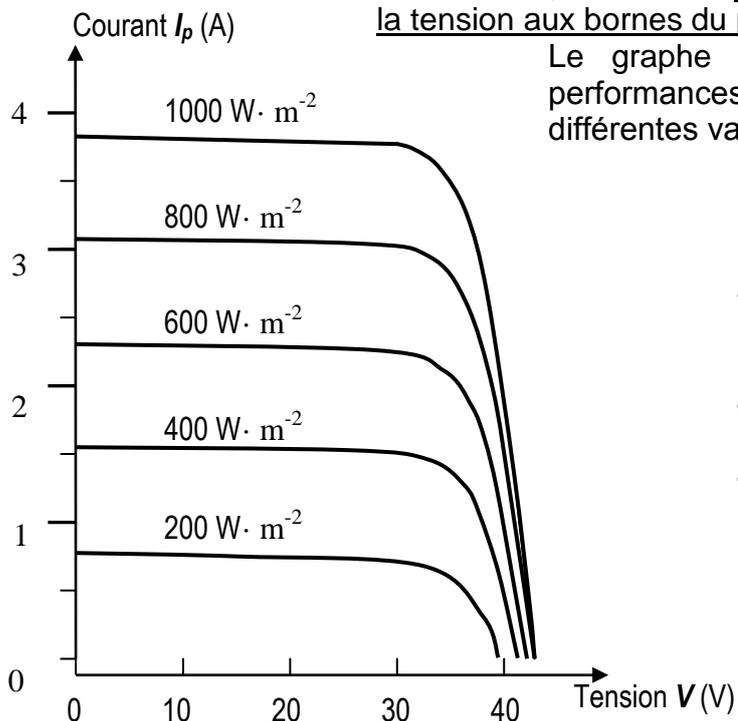
#### L'irradiation

**L'irradiation  $R_a$**  définit la quantité d'éclairement énergétique cumulé dans le temps. Elle s'exprime en  $W \cdot h \cdot m^{-2}$  ou en  $kW \cdot h \cdot m^{-2}$ .

Éphémérides moyens	Hiver	Printemps	Été	Automne	Année
Lever du soleil	8H	7H	7H	8H30	7H30
Coucher du soleil	18H30	21H30	21H	17H30	19H30
Durée du jour	10H30	14H30	14H	9H	12
Irradiation globale en $kW \cdot h \cdot m^{-2}$ par jour plein sud incliné $58^\circ$ d'après Calsol. (latitude $48^\circ$ nord)	2.46	4.87	4.35	2.05	3.43

#### Caractéristique Courant $I_p$ (courant produit par le panneau) en fonction la tension aux bornes du panneau $V$

Le graphe  $I_p = f(V)$  donné ci-dessous indique les performances typiques d'un panneau solaire pour différentes valeurs de l'éclairement énergétique :



#### **Caractéristiques électriques**

Puissance typique  **$P_{typ}$**  : 120 **Wc** (Watt crête)

Tension à la puissance typique  **$V_{typ}$**  : 33,7 V

Courant à la puissance typique  **$I_{typ}$**  : 3,56 A

Puissance minimale garantie  **$P_{min}$**  : 110 W

Tension nominale  **$V_{nom}$**  24 V

Courant de court-circuit  **$I_{cc}$**  : 3,8 A

Tension à vide  **$V_0$**  : 42,1 V

Ces données caractérisent la performance des modules mesurée dans les Conditions d'Essai Standard (STC) :

- Éclairement énergétique de  $1 kW \cdot m^{-2}$ ;
- Température de la cellule :  $25^\circ C$

### Agencement des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont répartis sur 2 zones :

- Sur le toit : 15 panneaux solaires
  - 6 panneaux solaires en parallèle et reliés à un régulateur IBC 24 Vcc/30 A
  - 6 panneaux solaires en parallèle et reliés à un régulateur IBC 24 Vcc/30 A
  - 3 panneaux solaires en parallèle et reliés à un régulateur IBC 24 Vcc/20 A
- Sur la terrasse : 16 panneaux solaires
  - 8 panneaux solaires en parallèle et reliés à un régulateur Steca 24 Vcc/45 A
  - 8 panneaux solaires en parallèle et reliés à un régulateur Steca 24 Vcc/45 A

### Orientation des panneaux solaires

Orientation : SUD

Inclinaison : Latitude St Malo + 10 = 48 + 10 = 58°

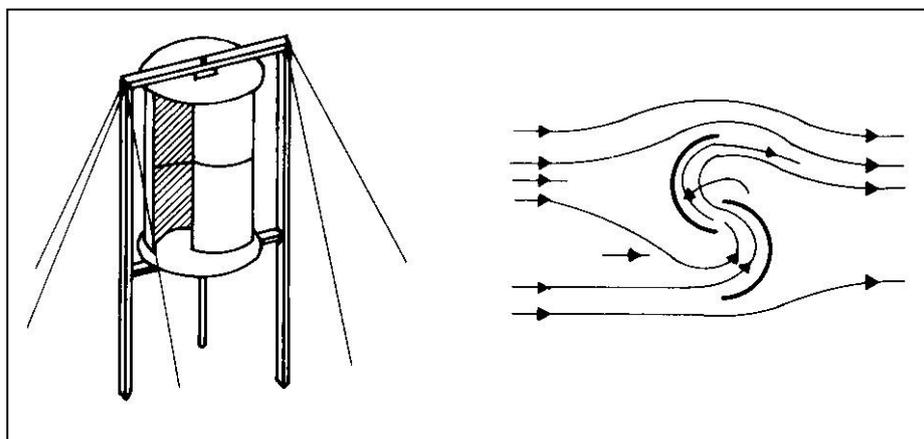
### 3.2/ L'aérogénérateur



L'aérogénérateur est une machine qui a pour fonction de prélever une partie de l'énergie éolienne disponible pour la transformer en énergie électrique. L'éolienne du fort du Guesclin est de type "Savonius". Son installation au niveau du sol ne dégrade pas le panorama de ce site classé. L'absence de pylône diminue le volume des fondations. Son implantation au Nord Est de l'île est adaptée pour capter les vents thermiques réguliers de l'été.

Ce type de machine est composé de deux demi-cylindres excentrés l'un par rapport à l'autre.

L'action du vent sur les courbes convexes et concaves des profils génèrent un couple grâce aux forces aérodynamiques.



Le modèle installé en 1996 est un prototype développé par l'entreprise Allemande Solavent.

#### Caractéristiques de l'aérogénérateur :

- **Dimension de l'éolienne à axe vertical :**

Hauteur = 3 m, largeur D = 2 m.

Matériau: tôle d'aluminium 1,5 mm d'épaisseur.

- **Génératrice synchrone triphasée :**

La génératrice électrique est constituée d'une machine synchrone triphasée à aimants permanents. Elle est couplée à l'éolienne à axe vertical par une transmission par courroie.

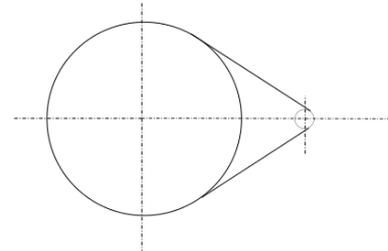
*Caractéristiques génératrice :*

- Vitesse de rotation nominale : **300 tr·min<sup>-1</sup>**
- Puissance nominale : **1kW**
- Nombre de paires de pôles : **12**

- **Caractéristiques transmission :**

Schéma de la transmission mécanique:

$$\varnothing_{\text{ROTOR}} = 600 \text{ mm} \quad \varnothing \text{ Génératrice} = 60 \text{ mm}$$



- **Le régulateur éolien:**

Ce composant permet de redresser le signal électrique et de le réguler. L'énergie électrique est stockée dans les batteries ou directement consommée en fonction des besoins énergétiques.



### 3.4/ Le parc batteries

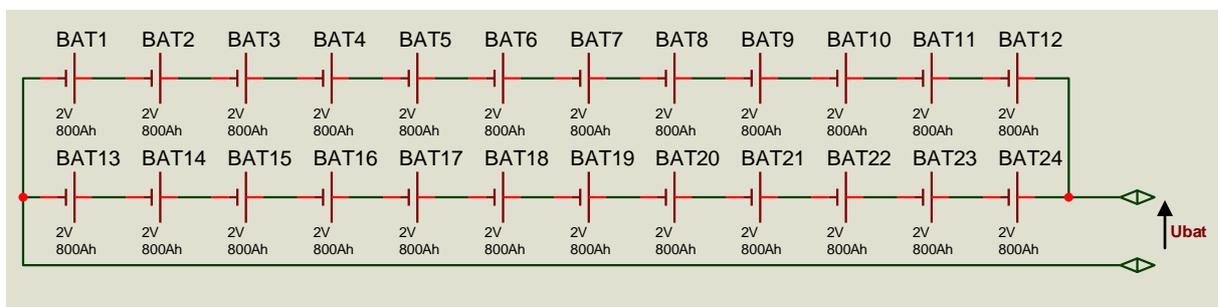
Fonction :

Le parc batteries réalise l'alimentation électrique autonome de l'île Du Guesclin. Il permet de stocker l'énergie électrique produite par l'éolienne et par les panneaux solaires et non consommée par les appareils électriques. Il restitue cette énergie lorsque le système hybride (Éolienne + Panneaux solaires) ne peut couvrir seul les besoins énergétiques de l'île.



Caractéristiques :

Ce parc batteries est constitué de 2 chaînes en parallèle de capacité 800 A·h chacune. Chaque chaîne est composée de 12 éléments de  $U_{\text{nom}} = 2 \text{ V}$  en série.



La tension aux bornes du parc batteries varie entre 21 V et 29 V selon son état de charge.

### **3.5/ Les régulateurs pour panneaux solaires**

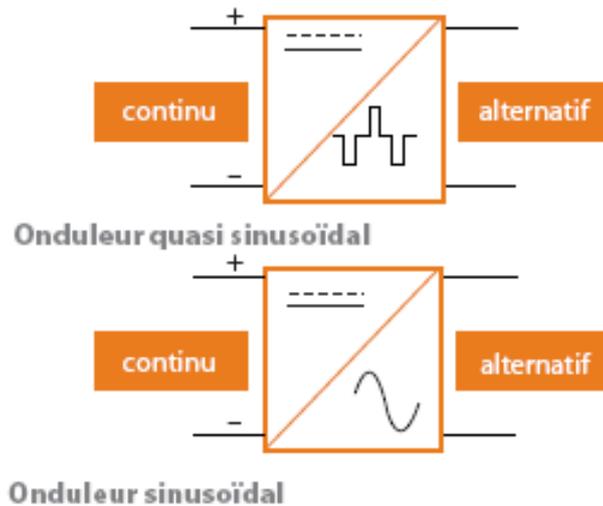
#### Fonction:

Les régulateurs ont pour fonction de gérer la charge et la décharge de la batterie. Ils permettent un transfert optimal d'énergie entre le panneau solaire et la batterie tout en minimalisant sa profondeur de décharge et en la protégeant de la surcharge, ce qui provoquerait un vieillissement prématuré des batteries.

### **3.6/ L'onduleur SOLO 24 V 2000 W**

#### Fonction:

Il convertit la tension d'entrée continue 24 V en une tension alternative 230 V 50 Hz proche d'une sinusoïde.



### **3.7/ Le sectionneur porte fusibles**

#### Fonction:

Il permet de mettre l'ensemble des bâtiments de l'île Du Guesclin hors énergie.

#### Caractéristiques:

Sectionnement manuel.

Protection bipolaire contre les surintensités par fusibles 100 A.

### **3.8/ Le tableau de répartition**

#### Fonction:

Il protège les utilisateurs de l'île du Guesclin contre les électrisations.

Il protège l'installation électrique contre les surcharges en courant.

#### Caractéristiques:

Interrupteurs différentiels 30 mA 45 A Type A (protection en continu) et AC (protection en alternatif)

Disjoncteurs 10 A pour les circuits d'éclairages.

Disjoncteurs 16 A pour les circuits prises de courant.

Disjoncteur 20 A pour la machine à laver.

## 4/ Bilan énergétique du Fort Du Guesclin

<b>Appareils fonctionnant toute l'année</b>						
appareil	conso annuelle kWh/an			conso/jour Wh	conso/an kWh	
1 congélateur	300			821,9	300,0	
2 réfrigérateur	300			821,9	300,0	
3				0,0	0,0	
4				0,0	0,0	
5				0,0	0,0	
<b>total</b>				<b>1643,8</b>	<b>600,0</b>	
<b>Appareils à cycle</b>						
appareil	conso/cycle Wh		nb cycle/semaine	conso/jour Wh	conso/an kWh	
1 lave-linge	1,5		1	0,2	400,0	
2 lave-vaisselle	1,5		4	0,9	300,0	
3 sèche-linge				0,0	0,0	
4				0,0	0,0	
5				0,0	0,0	
<b>total</b>				<b>1,1</b>	<b>700,0</b>	
<b>Appareil à utilisation quotidienne</b>						
appareil	puissance W	nombre	heure/jour h	nb jour/semaine	conso/jour Wh	conso/an kWh
1 lampe	30	7	3	7	630,0	229,0
2 four	(gaz)	0	0	0	0,0	0,0
3 cafetière	1000	1	0,5	7	500,0	182,0
4 pompe circuit eau	50	1	2	7	100,0	36,5
5 accélérateurs radiateurs	50	1	24	7	1200,0	438,0
6 pompe à chaleur					0,0	0,0
					0,0	0,0
<b>total</b>					<b>2430,0</b>	<b>885,5</b>
<b>Appareils à utilisation occasionnelle</b>						
appareil	puissance W	heure/utilisation		nb fois/an	conso/jour Wh	conso/an kWh
1 perceuse	1200	1		24	78,9	28,8
2 tondeuse	1500	2		15	123,3	45,0
3 monte-charge					0,0	0,0
4 illumination extérieure					0,0	0,0
<b>total</b>					<b>202,2</b>	<b>73,8</b>
<b>Bilan énergétique de l'installation (AC)</b>					conso/jour Wh	conso/an kWh
Appareils fonctionnant toute l'année					1643,8	600,0
Appareils à cycle					1,1	700,0
Appareils à utilisation quotidienne					2430,0	885,5
Appareils à utilisation occasionnelle					202,2	73,8
<b>total</b>					<b>4277,1</b>	<b>2259,3</b>

## Formulaire

### Formules de base

Quantité d'électricité  $Q(A \cdot h) = I(A) \times t(h)$

Énergie électrique  $W(W \cdot h) = P(W) \times t(h) = U(V) \times I(A) \times t(h) = U(V) \times Q(Ah)$

Puissance électrique  $P(W) = \text{Effort} \times \text{Flux} = U(V) \times I(A)$

### Les batteries

La capacité **C** de la batterie s'exprime en ampères heures (A·h). C'est la quantité d'électricité maximale que la batterie peut stocker.

#### Mise en série des batteries :

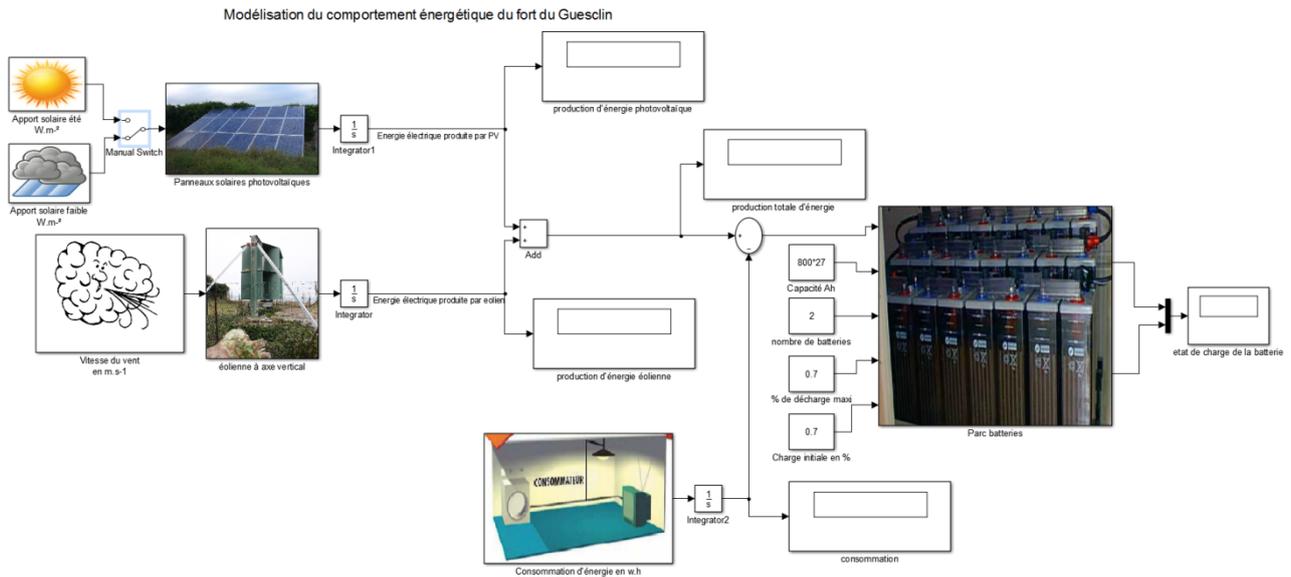
La tension aux bornes de l'ensemble est égale à la somme des tensions de chaque batterie.

La capacité de l'ensemble est égale à la capacité d'une batterie.

#### Mise en parallèle des batteries :

La capacité de l'ensemble est égale à la somme des capacités de chaque batterie. Les batteries doivent avoir la même tension et la tension de l'ensemble est égale à la tension d'une batterie.

## Modélisation de l'apport d'énergie par les sources renouvelables :



Les apports sont modélisés à partir des relevés météo de la région pour les deux saisons, été et hiver.

Cette modélisation donne l'énergie disponible dans les batteries en W-h pour une tension moyenne de 27V aux bornes du parc batterie.

Le parc batteries est configurable en fonction du nombre de batteries, leur capacité et du câblage.

### Batteries sélectionnées pour la rénovation du parc



Gamme disponible de 80 à 220Ah

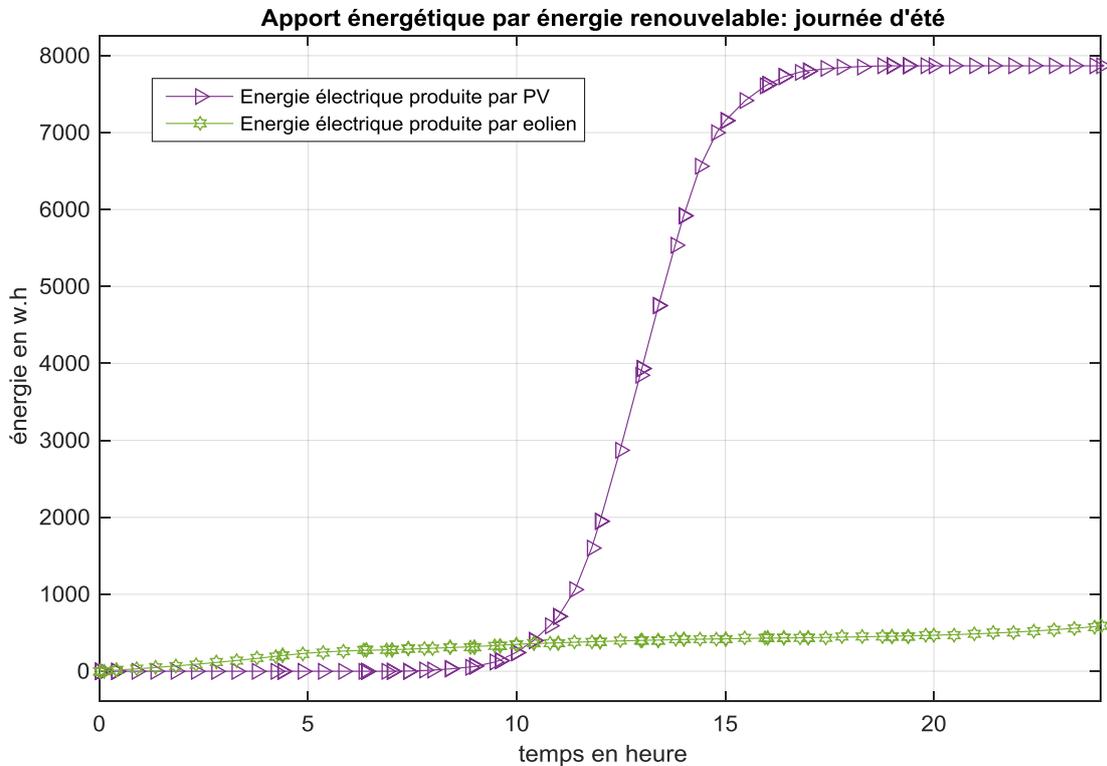
Le tableau ci-dessous résume l'ensemble de la gamme ainsi que les principales caractéristiques :

RÉFÉRENCE	TENSION NOMINALE	CAPACITÉ C20	CAPACITÉ C10	CCA (A)	DIMENSION MM (L*L*H)	INSERT	POIDS (KG)
SG800H	12V	80Ah	75Ah	480	350*166*175	M8	24kg
SG1000H	12V	100Ah	93Ah	525	332*174*215	M8	30kg
SG1100H	12V	110Ah	100Ah	605	332*174*215	M8	32kg
SG1200H	12V	120Ah	110Ah	685	443*167*204	M8	35kg
SG1300H	12V	130Ah	120Ah	800	443*167*204	M8	40kg
SG1500H	12V	150Ah	140Ah	975	500*260*196	M8	49kg
SG2000H	12V	200Ah	185Ah	1240	500*260*196	M8	59kg
SG2200H	12V	220Ah	200Ah	1330	500*260*196	M8	62kg

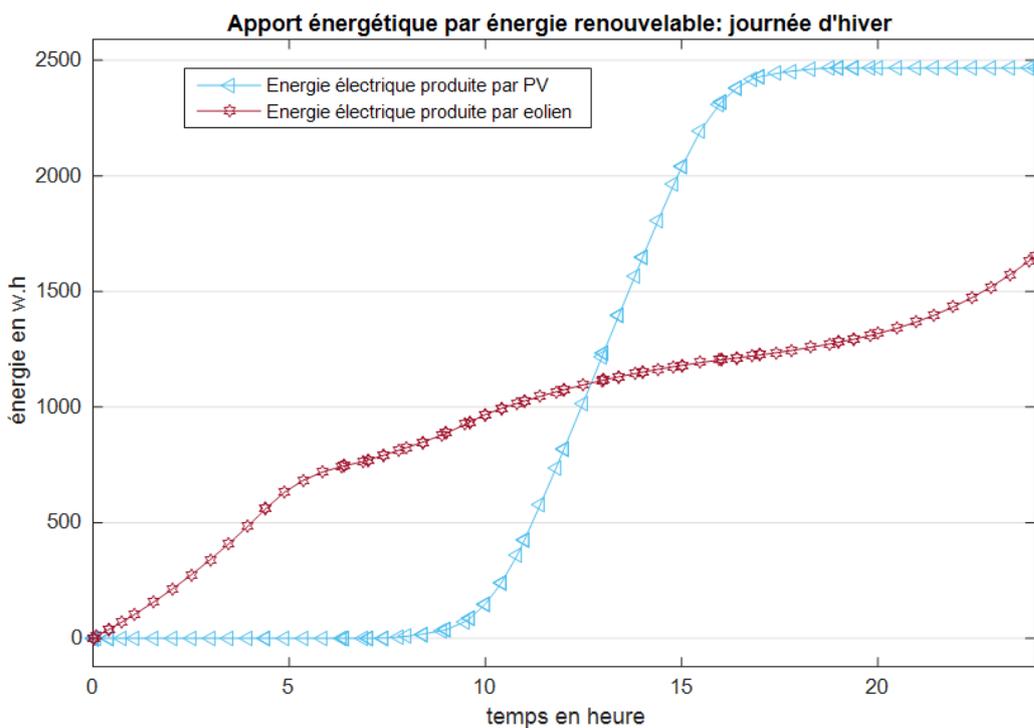
## Résultats de la modélisation présentée sur le DT9 :

Le premier graphique donne l'apport énergétique en W·h pour une journée d'été. L'apport par l'ensoleillement est de  $850 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  en milieu de journée.

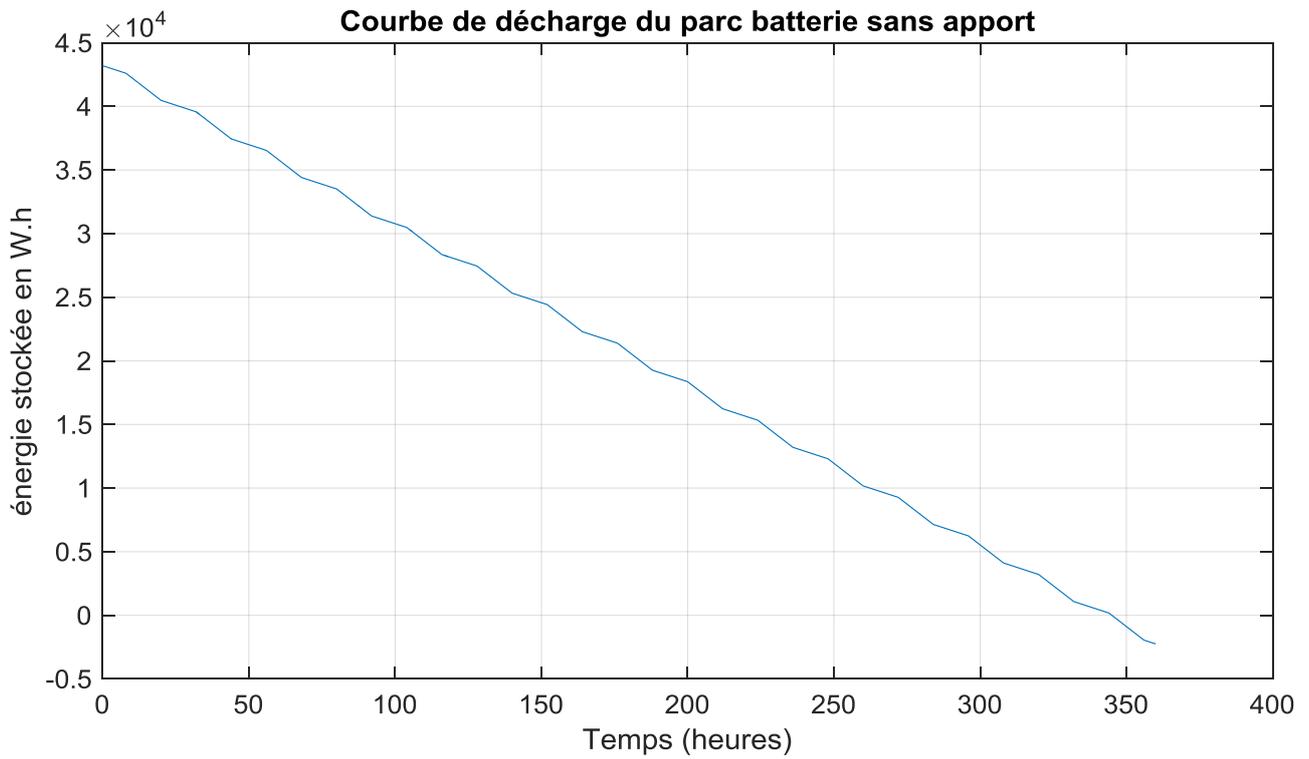
(on note PV : panneaux PhotoVoltaïques)



Le second graphique concerne une journée d'hiver avec un apport par l'ensoleillement de  $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  en milieu de journée.



Simulation de la décharge du parc batteries actuel :



Simulation de la décharge du parc batteries rénové :

